

## TEORETYCZNA OCENA TRANSMISJI MOCY W CIĄGNIKU ROLNICZYM, EKSPLOATOWANYM NA ZRÓŻNICOWANYCH PODŁOŻACH\*

*Włodzimierz Białczyk, Anna Cudzik, Jarosław Czarnecki, Marek Brennensthul*  
*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki oceny teoretycznej z wykorzystaniem wyników badań trakcyjnych przeprowadzonych w warunkach polowych. Ocena dotyczyła problematyki doboru przełożenia w układzie napędowym hipotetycznego ciągnika rolniczego, który spełniał wymagania ciągników uniwersalnych klasy 4.0 kN. Założono maksymalną moc i moment obrotowy silnika oraz przełożenia układu napędowego przyjętego ciągnika. Analizę teoretyczną przeprowadzono dla trzech prędkości jazdy na czterech rodzajach podłoży – takie założenia odzwierciedlały uniwersalny charakter eksploatacji ciągnika. Do obliczeń wykorzystano wyznaczone wcześniej wartości poślizgu oraz siły trakcyjnej. Wynikiem analizy było wyznaczenie wartości mocy, momentu obrotowego oraz prędkości obrotowej silnika na poszczególnych biegach. Na podstawie przeprowadzonej analizy wskazano najbardziej korzystne przełożenia w układzie napędowym ciągnika, z uwzględnieniem różnorodności warunków eksploatacji. Wykazano, że eksploatacja ciągnika na odmiennych podłożach z tą samą prędkością jazdy wymaga stosowania odmiennych przełożeń.

**Słowa kluczowe:** ciągnik, właściwości trakcyjne, układ napędowy, dobór przełożenia

### Wstęp

We współczesnym rolnictwie szeroko wykorzystywane są ciągniki określane mianem uniwersalnych. Charakterystyczną cechą tych pojazdów jest ich wszechstronny charakter eksploatacji, który przejawia się tym, że ten sam ciągnik może być wykorzystywany przy odmiennych pracach na różnych podłożach. Nieuniknioną konsekwencją takiego sposobu eksploatacji są różnice we właściwościach trakcyjnych na odmiennych podłożach.

Duże zróżnicowanie warunków, w których eksploatowane są ciągniki rolnicze sprawia, że konieczne jest dążenie do uzyskania jak najlepszych właściwości trakcyjnych w całym zakresie eksploatacji (Dwyer, 1984; Goering i Hansen, 2004; Wulfsohn i Way, 2009). Znane są dwie zasadnicze grupy poprawy właściwości trakcyjnych: metody z pierwszej

---

\* *Badania finansowane w ramach projektu badawczego nr N N313 759340*

grupy bazują na zwiększaniu powierzchni kontaktu kół z podłożem, w drugiej grupie poprawa właściwości trakcyjnych osiągana jest poprzez zmianę obciążenia pionowego kół (Bashford i in., 1993; Sharma i Pandey, 2001; Zoz i in., 2003). Kryteria doboru konkretnej metody są uzależnione od stanu i rodzaju podłoża; trudno jest wskazać metodę uniwersalną, która z taką samą skutecznością sprawdzałaby się na różnych podłożach. Jednakże oprócz metod ingerujących w układ jezdny wyróżnić można jeszcze metodę bazującą na doborze parametrów pracy silnika oraz układu napędowego (Ortiz-Canavate i in., 2008; Peca i in., 2010; Żebrowski, 2003). Problematyka doboru przełożenia jest istotna zwłaszcza w odniesieniu do nowych konstrukcji ciągników, w których stosowane są skrzynki przekładniowe o kilkudziesięciu przełożeniach. Zaznaczyć należy, iż w większości takich ciągników dobór przełożenia nie jest wspomagany przez układy elektroniczne, w związku z czym decyzja o wyborze konkretnego biegu zależy jedynie od traktorzysty. Znane są publikacje, w których wykazywano, że przy różnych zabiegach konieczne jest stosowanie odmiennych przełożeń (Białczyk i in., 2012a; Grisso i in., 2011; Kichler i in., 2011; Senatore i Sandu, 2011). W związku z tym, zasadne wydaje się przeprowadzenie analizy, która wykaże, jakie muszą być przełożenia oraz parametry pracy silnika przy eksploatacji tego samego ciągnika z tą samą prędkością na odmiennych podłożach.

## Przedmiot, cel i metoda

Przedmiotem badań była problematyka doboru przełożeń w hipotetycznym, uniwersalnym ciągniku rolniczym.

Jako cel pracy przyjęto wykazanie, jakie muszą być parametry pracy silnika oraz przełożenia w układzie napędowym ciągnika, aby siła trakcyjna rozwijana była przy maksymalnej sprawności trakcyjnej. Uwzględniono przy tym zróżnicowanie wynikające z uniwersalnego charakteru eksploatacji ciągnika. Założono, że ciągnik będzie eksploatowany na czterech rodzajach podłoża:

1. Ściernisko po pszenicy ozimej; zwięzłość na głębokości 0,05 m: 1,26 MPa,
2. Gleba spulchniona (po uprawie glebogryzarką); zwięzłość (0,05 m): 0,94 MPa,
3. Podłoże zadarnione (darń łąkowo-pastwiskowa z przewagą życicy trwałej); zwięzłość (0,05 m): 2,90 MPa,
4. Droga gruntowa, na piasku słabogliniastym; zwięzłość (0,05 m): 3,93 MPa.

W części eksperymentalnej wyznaczono wartości parametrów trakcyjnych, które następnie wykorzystano do analizy teoretycznej. Jako parametry wyjściowe przyjęto maksymalną sprawność trakcyjną oraz siłę trakcyjną i poślizg odpowiadające tej sprawności. Metodę badań trakcyjnych przedstawiono w pracy Białczyka i in. (2012b). Każdy pomiar wykonywano w pięciu powtórzeniach. Maksymalny błąd przy pomiarze siły wynosił 2,3%.

Analizę teoretyczną przeprowadzono w odniesieniu do hipotetycznego ciągnika, który mógł być zakwalifikowany do klasy uciągu 4.0 kN i zaliczany do grupy ciągników uniwersalnych. Masa tego ciągnika wynosiła 1900 kg (ciężar równy 18640 N), ciągnik był napędzany na jedną oś, na którą przypadało ok. 65% masy całkowitej. Koła napędowe przyjętego ciągnika były wyposażone w opony 8.3-20 (takie, jakie były przyjęte w badaniach trakcyjnych), promień dynamiczny wynosił 0,4 m. Obciążenie pionowe jednego koła na osi

napędowej wynosiło 6110 N. Założono, że do napędu ciągnika był wykorzystany silnik spalinowy o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1

*Zestawienie parametrów silnika ciągnika przyjętego do analizy*

Table 1

*The list of engine parameters of the tractor accepted for analysis*

| Parametr  | Wartość |
|---|---------|
| Moc maksymalna, (kW)  | 30,6    |
| Prędkość obrotowa przy mocy maksymalnej, (obr·min <sup>-1</sup> )     | 2900    |
| Moment obrotowy przy mocy maksymalnej, (Nm)                           | 101,5   |
| Maksymalny moment obrotowy, (Nm)                                      | 118,4   |
| Prędkość obrotowa przy maksymalnym momencie, (obr·min <sup>-1</sup> ) | 1900    |

Przyjęto, że przedstawiony silnik współpracował z pięciostopniową mechaniczną skrzynią przekładniową, wyposażoną w reduktor podwajający liczbę biegów. Rozpiętość przełożeń równa była 1,5, przełożenie reduktora wynosiło 3,5. Wartości przełożeń oraz odpowiadające im zakresy prędkości jazdy przedstawiono w tabeli 2. Analizę teoretyczną przeprowadzono dla trzech prędkości jazdy: 4, 8, 12 km·h<sup>-1</sup>. Prędkości te odpowiadały uniwersalnemu charakterowi eksploatacji ciągnika (od prac polowych po transportowe w warunkach polowych).

Tabela 2

*Wartości przełożeń oraz zakresy prędkości jazdy na poszczególnych biegach*

Table 2

*Values of ratio and the scope of travelling speed on particular gears*

| Bieg | Przełożenie, (-)   |                    | Zakresy prędkości jazdy, (km·h <sup>-1</sup> ) |                    |
|------|--------------------|--------------------|--|--------------------|
|      | reduktor wyłączony | reduktor załączony | reduktor wyłączony                             | reduktor załączony |
| I    | 65,6               | 229,6              | 2,36-6,83                                      | 0,67-1,95          |
| II   | 43,7               | 153,0              | 3,54-10,26                                     | 1,01-2,93          |
| III  | 29,1               | 101,9              | 5,31-15,40                                     | 1,52-4,40          |
| IV   | 19,4               | 67,9               | 7,97-23,11                                     | 2,28-6,61          |
| V    | 12,9               | 45,2               | 12,04-34,75                                    | 3,42-9,93          |

Celem analizy było wyznaczenie mocy silnika i jego momentu obrotowego oraz odpowiadających im prędkości obrotowych. Końcowym etapem analizy było ustalenie, jaka moc silnika jest niezbędna do zapewnienia ruchu ciągnika z założonymi prędkościami jazdy i przy przyjętych siłach trakcyjnych.

W pierwszym etapie obliczeń wybierano przełożenia, na których możliwe było osiągnięcie założonej prędkości jazdy, a następnie dla tych prędkości obliczano prędkość obrotową kół napędowych ( $n_k$ ), według wzoru 1. Dla uproszczenia przyjęto, że obydwie koła toczyły się z takimi samymi wartościami prędkości obrotowej i występowały na nich takie same wartości momentów obrotowych (włączona blokada mechanizmu różnicowego).

$$n_k = 30 \frac{v}{\pi r_D} \quad (\text{min}^{-1}) \quad (1)$$

gdzie:

- $v$  – założona prędkość jazdy ciągnika ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),
- $r_D$  – przyjęta wartość promienia dynamicznego (m).

Kolejnym etapem obliczeń było wyznaczenie teoretycznej ( $n$ ) oraz rzeczywistej ( $n'$ ) prędkości obrotowej na wale korbowym silnika, zgodnie z wzorami 2 i 3.

$$n = n_k \cdot i \quad (\text{min}^{-1}) \quad (2)$$

$$n' = n(1 + \delta) \quad (\text{min}^{-1}) \quad (3)$$

gdzie:

- $i$  – przełożenie danego biegu (-),
- $\delta$  – poślizg kół napędowych (-).

Moment obrotowy na kole napędowym ( $M_{Ok}$ ) wyznaczano według wzoru 4:

$$M_{Ok} = P_T \cdot r_D \quad (\text{Nm}) \quad (4)$$

gdzie:

- $P_T$  – siła trakcyjna (N),
- $r_D$  – przyjęta wartość promienia dynamicznego koła (m).

Następnym krokiem było obliczenie wartości momentu obrotowego na wale korbowym silnika ( $M_O$ ) według wzoru 5.

$$M_O = \frac{2M_{Ok}}{i \cdot \eta_m} \quad (\text{Nm}) \quad (5)$$

gdzie:

- $i$  – wartość przełożenia w układzie napędowym (-),
- $\eta_m$  – sprawność mechaniczna w układzie napędowym (dla uproszczenia założono, że we wszystkich przypadkach wynosi ona 0,95).

Ostatnim parametrem obliczanym na potrzeby analizy była moc na wale korbowym silnika ( $N_e$ ) – wartość tej mocy stanowiona była przez iloczyn momentu obrotowego i rzeczywistej prędkości kątowej wału ( $\omega'$ ), zgodnie z wzorami 6 i 7.

$$N_e = M_O \cdot \omega' \quad (\text{W}) \quad (6)$$

$$\omega' = \frac{\pi n'}{30} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (7)$$

gdzie:

- $M_O$  – moment obrotowy na wale korbowym silnika (Nm),
- $n'$  – rzeczywista prędkość obrotowa wału korbowego silnika ( $\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

## Wyniki

Na podstawie wyników uzyskanych w części badawczej wyznaczono maksymalne sprawności trakcyjne koła na wybranych podłożach. Wartości te przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

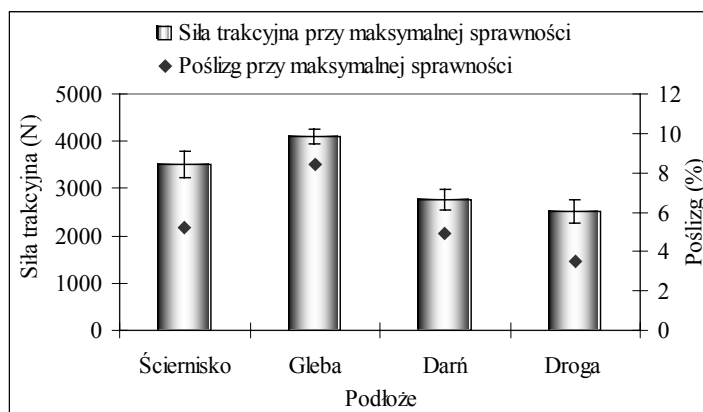
*Maksymalne wartości sprawności trakcyjnej wyznaczone w trakcie badań eksperymentalnych*

Table 3

*The maximum values of traction efficiency determined in the course of experimental research*

| Parametr                           | Podłoże    |       |      |       |
|------------------------------------|------------|-------|------|-------|
|                                    | Ściernisko | Gleba | Darń | Droga |
| Maksymalna sprawność trakcyjna (%) | 39,8       | 31,9  | 56,4 | 49,2  |

Na rysunku 1 przedstawiono wartości siły trakcyjnej oraz poślizgu odpowiadające maksymalnym sprawnościom trakcyjnym.



*Rysunek 1. Wartości siły trakcyjnej i poślizgu odpowiadające maksymalnej sprawności trakcyjnej w trakcie badań trakcyjnych*

*Figure 1. Values of traction force and slide responding to the maximum traction force in the course of traction research*

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że niższe wartości sprawności występowały na podłożach mniej zwięzłych i na tych podłożach stwierdzono także wyższe wartości siły trakcyjnej oraz poślizgu towarzyszące maksymalnej sprawności trakcyjnej. Wyższe wartości siły trakcyjnej na podłożach mniej zwięzłych mogą mieć związek z wyższymi

wartościami oporu przetaczania (siła trakcyjna jest sumą siły uciągu oraz oporu przetaczania). Z kolei niższe wartości sprawności trakcyjnej na podłożach mniej zwięzłych są skutkiem większych strat energii związanych z odkształcaniem podłoża i większą wartością poślizgu optymalnego. Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w innych pracach (Bashford i in., 1993; Grisso i in., 1992; Zoz i in., 1999), w których wykazano, że na podłożach mniej zwięzłych parametry trakcyjne są gorsze.

Wyniki uzyskane w części eksperymentalnej poddano analizie statystycznej – jednozmiennikowej analizie wariancji na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Jako czynnik przyjęto rodzaj podłoża; analizowano jego wpływ na właściwości trakcyjne. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

*Wyniki analizy statystycznej dla wyników części eksperymentalnej*

Table 4

*Results of the statistical analysis for the results of the experimental part*

| Parametr                   | Sprawność trakcyjna | Siła trakcyjna | Poślizg  |
|----------------------------|---------------------|----------------|----------|
| Wartość funkcji testowej F | 62,875              | 28,979         | 6,5208   |
| Prawdopodobieństwo p       | 0,000007            | 0,000120       | 0,015297 |

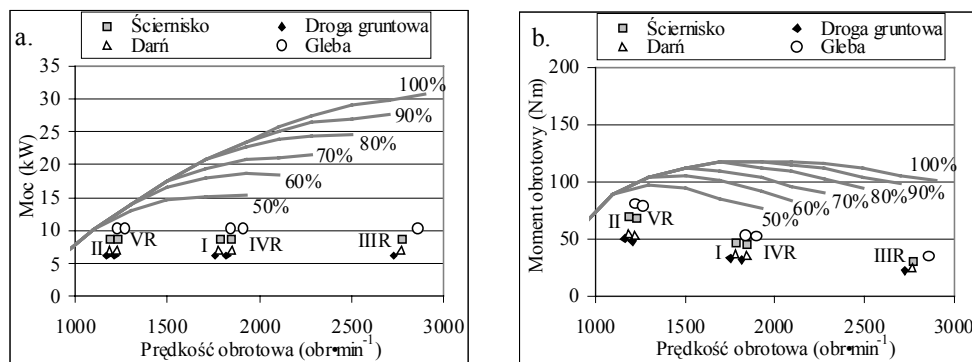
Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że rodzaj podłoża miał istotny wpływ na wszystkie przyjęte parametry, toteż możliwe było zastosowanie uzyskanych wyników do dalszej analizy teoretycznej.

Wyniki analizy teoretycznej przedstawiono na charakterystykach prędkościowych silnika. Krzywe mocy i momentu obrotowego opisują tzw. pełną charakterystykę silnika (100%) oraz charakterystyki częściowe (przy ustaleniu dawki paliwa na 50–90%). Poszczególne punkty naniesione na wykresy oznaczają natomiast wartości mocy i momentu obrotowego obliczone dla przyjętych warunków eksploatacji.

Prędkość  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  może zostać osiągnięta na biegach I, II, IIIIR, IVR i VR (litera R oznacza, że na danym biegu reduktor był załączony). Osiągnięcie wymaganych wartości sił trakcyjnych przy prędkości jazdy  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (rys. 2) w żadnym z przypadków nie powodowało przekroczenia mocy maksymalnej. Jednak przy niskich prędkościach obrotowych (biegi II i VR) występowałoby ryzyko nierównomiernej pracy silnika i w konsekwencji – możliwość jego przeciążenia. Eksploatacja ciągnika na biegu IIIIR nie byłaby korzystna ze względu na wysoką prędkość obrotową przy niewielkim wykorzystaniu mocy i momentu obrotowego.

Zwiększenie prędkości jazdy do  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (rys. 3) powoduje wzrost zapotrzebowania na moc i moment obrotowy. Eksploatacja ciągnika na biegu IV nie byłaby możliwa na żadnym z przyjętych podłoży, ponieważ wartości mocy i momentu obrotowego przekraczały poziomy maksymalne opisane charakterystyką zewnętrzną. Przełożenia biegów II i VR mają podobne wartości, toteż jazda na tych biegach skutkowałaby zbliżonymi wartościami mocy i momentu obrotowego. Na obu tych biegach silnik pracowałby z dużymi prędkościami obrotowymi dochodzącymi do  $2500 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , występowałaby również nadwyżka mocy, zwłaszcza podczas jazdy po drodze gruntowej oraz darni. W przypadku biegu III

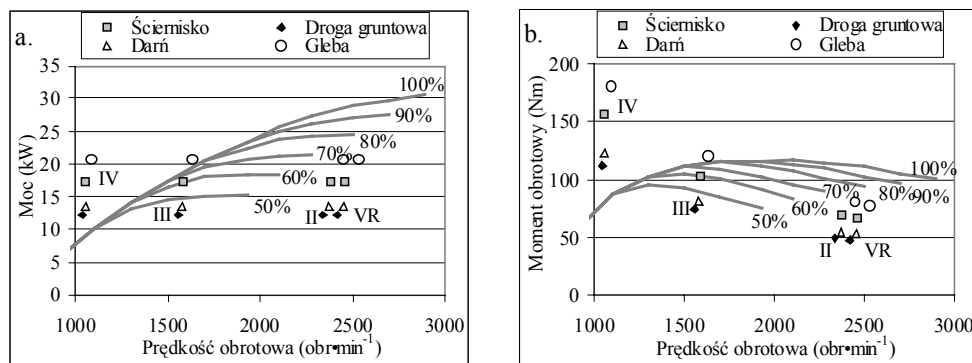
eksploatacja ciągnika byłaby możliwa na ściernisku, darni oraz na drodze gruntowej (na glebie zapotrzebowanie na moc przekracza poziom maksymalny, dostępny przy danej prędkości obrotowej). Jazda ciągnikiem na ściernisku na biegu III skutkowałaby 60% wykorzystaniem mocy silnika, w przypadku drogi oraz darni zapotrzebowanie na moc i moment nie przekroczyłoby 50%.



Rysunek 2. Wartości parametrów silnika obliczone dla prędkości jazdy  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – moc na wale korbowym, b – moment obrotowy na wale korbowym

Figure 2. Values of the engine parameters calculated for the travelling speed  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – power at the crankshaft, b – torque at the crankshaft

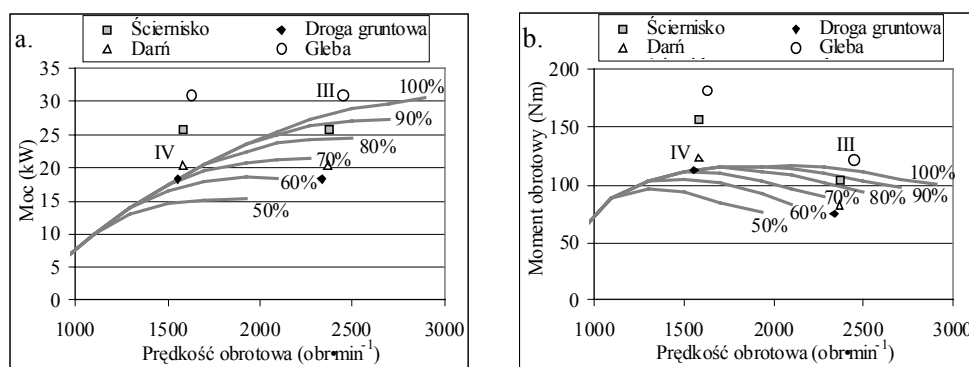
Na rysunku 3 przedstawiono wartości mocy i momentu obrotowego obliczone dla prędkości jazdy  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .



Rysunek 3. Wartości parametrów silnika obliczone dla prędkości jazdy  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – moc na wale korbowym, b – moment obrotowy na wale korbowym

Figure 3. Values of the engine parameters calculated for the travelling speed  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – power at the crankshaft, b – torque at the crankshaft

Wartości parametrów pracy silnika przy prędkości jazdy  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  przedstawiono na rysunku 4. Zgodnie z danymi przedstawionymi w tabeli 2 osiągnięcie tej prędkości możliwe było jedynie na biegach III i IV.



Rysunek 4. Wartości parametrów silnika obliczone dla prędkości jazdy  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – moc na wale korbowym, b – moment obrotowy na wale korbowym  
 Figure 4. Values of the engine parameters calculated for the travelling speed  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ : a – power at the crankshaft, b – torque at the crankshaft

Zgodnie z powyższymi rysunkami eksploatacja ciągnika na biegu IV możliwa byłaby jedynie na drodze gruntowej – silnik obciążony byłby wówczas w ok. 95%. Jazda na darni oraz ściernisku byłaby możliwa na biegu III; wykorzystanie mocy i momentu wyniosłoby wówczas ok. 65% na darni i ok. 90% na ściernisku. Jazda z prędkością  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  na glebie nie byłaby możliwa ze względu na przekroczenie maksymalnej wartości mocy.

W celu porównania wszystkich uzyskanych wyników, w tabeli 4 zestawiono najbardziej korzystne przełożenia, na których byłaby możliwa eksploatacja ciągnika na wszystkich przyjętych podłożach i dla wszystkich prędkości.

Tabela 4

Zestawienie biegów, na których eksploatacja ciągnika byłaby najkorzystniejsza (brak podanego przełożenia oznacza, że eksploatacja nie była możliwa)

Table 4

The list of gears, at which exploitation of a tractor would be the most advantageous (lack of the ratio means that exploitation would not be possible)

| Prędkość<br>( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | Podłoże    |        |        |                |
|---|------------|--------|--------|----------------|
|   | ściernisko | gleba  | darni  | droga gruntowa |
| 4   | I, IVR     | I, IVR | I, IVR | I, IVR         |
| 8   | III        | II     | III    | III            |
| 12  | III        | -      | III    | IV             |



Analiza danych przedstawionych w powyższej tabeli pozwala stwierdzić, że większe możliwości eksploatacji w założonych warunkach występowały dla niższych prędkości jazdy. Uzyskanie większej prędkości jazdy wymuszało załączanie wyższych biegów. Ponadto zaobserwować można, że na bardziej zwężonych podłożach możliwe było stosowanie wyższych biegów – przypuszczalnie powodowane było to mniejszym oporem przetażania i w konsekwencji mniejszą siłą trakcyjną. Z tego właśnie powodu stosowanie najwyższej prędkości jazdy nie było możliwe w przypadku gleby, czyli podłoża o najmniejszej zwężłości. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi przedstawianymi w literaturze; wykazywano, że na mniej zwężonych podłożach należy stosować niższe biegi (Kichler i in., 2011; Ortiz-Canavate i in., 2008). W części przypadków można również znaleźć analogię do pracy Grisso i in. (2011), w której stwierdzono, że korzystniejsze jest stosowanie wyższych przełożeń przy niskiej prędkości obrotowej silnika.

## Wnioski

Na podstawie wykonanych badań oraz przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Sprawność trakcyjna badanego koła jest determinowana stanem podłoża. Na podłożach o dużej zwężłości stwierdzono wyższe wartości sprawności, które osiągane były przy poślizgach niższych, niż to miało miejsce na podłożach mniej zwężłych.
2. Na podstawie analizy teoretycznej wykazano, że przy założonej prędkości jazdy ciągnika, na podłożach o większej zwężłości możliwe jest stosowanie wyższych przełożeń i niższej prędkości obrotowej silnika. Jedynie dla najwyższej założonej prędkości stwierdzono brak możliwości eksploatacji na najmniej zwężłym podłożu.
3. Przeprowadzona analiza wykazała, że o możliwościach stosowania ciągnika w różnych warunkach terenowych, przy zachowaniu optymalnych właściwości trakcyjnych, w dużym stopniu decyduje dobór odpowiedniego przełożenia.

## Literatura

- Bashford, L.L.; Al-Hamed, S.; Jenane, C. (1993). Effects of tire size and inflation pressure on tractive performance. *ASAE Paper no 92-1011*, 343-348.
- Białczyk, W.; Cudzik, A.; Czarnecki, J.; Brennensthul, M. (2012a). Ilość przełożeń w układzie napędowym, a walory użytkowe ciągnika rolniczego. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. Vol. 14*, No. 5, 169-176.
- Białczyk, W.; Cudzik, A.; Czarnecki, J.; Brennensthul, M. (2012b). Ocena trakcyjna opon do uniwersalnego ciągnika rolniczego. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 7-17.
- Dwyer, M.J. (1984). Tractive performance of wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*, 21(1), 19-34.
- Goering, C.E.; Hansen, A.C. (2004). *Engine and Tractor Power*. ASAE Publication, ISBN 1892769425.
- Grisso, R.; Pitman, R.; Perumpral, J.; Vaughan, D.; Robertson, G.; Hoy R. (2011). "Gear up and throttle down" to save fuel. *Virginia Cooperative Extension Publication*, 442, 1-7.
- Grisso, R.; Taylor, R.K.; Way, T.R.; Bashford, L.L. (1992). Tractive performance of 18.4R46 and 18.4R42 radial tractor tires. *ASAE Paper no 91-1589*, 739-745.

- Kichler, C.M.; Fulton, J.P.; Raper, R.L.; McDonald, T.P.; Zech, W.C. (2011). Effects of transmission gear selection on tractor performance and fuel cost during deep tillage operations. *Soil and Tillage Research*, 113, 105-111.
- Ortiz-Canavate, J.; Gil-Sierra, J.; Gil-Quiros, V.; Casanova, J. (2008). Energy efficiency in agricultural tractors considering the engine and the transmission. *International Conference on Agricultural Engineering*, 23-25.06.2008, Creta, Greece.
- Peca, J.; Serrano, J.; Pinheiro, A.; Carvalho, M.; Nunnes, M.; Ribeiro, L.; Santos, F. (2010). Speed advice for power efficient drawbar work. *Journal of Terramechanics*, 47, 55-61.
- Senatore, C.; Sandu, C. (2011). Torque distribution influence on tractive efficiency and mobility of off-road wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*, 48, 372-383.
- Sharma, A.K.; Pandey, K.P. (2001). Matching tire size to weight, speed and power available for maximizing pulling ability of agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, 38, 89-97.
- Wulfsohn, D.; Way, T.R. (2009). Factors that influence tractive performance of wheels, tracks and vehicles. In: *Advances in Soil Dynamics vol. 3. St Joseph Michigan ASABE*, 209-252.
- Zoz, F.M.; Grisso, R.D. (2003). *Traction and tractor performance*. ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design No 27, publication number 913C0403.
- Zoz, F.M.; Turner, R.J.; Shell, L.R. (1999). Power delivery efficiency: a valid measure of belt/tire tractor performance? *An ASAE Meeting Presentation Paper no 99-1034*, 1-10.
- Żebrowski, J. (2003). An analysis of power flowing through the wheel of a running vehicle. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, III*, 271-278.

## THEORETICAL ASSESSMENT OF POWER TRANSMISSION IN A TRACTOR EXPLOITED ON VARIOUS GROUNDS

**Abstract.** Results of the theoretical assessment with the use of traction research carried out in the field conditions were presented in the article. The assessment concerned the selection issue of the ratio in the power transmission system of a tractor, which met the requirements of universal tractors of 4.0 kN class. The maximum power and the engine torque and the ratio of the power transmission system, of the accepted tractor was assumed. Theoretical analysis was carried out for three travelling speeds on four types of ground - such assumptions reflected the universal character of the tractor exploitation. Values of slide and traction force, determined earlier, were used for calculations. The result of the analysis was the power value determination, engine torque and the rotational speed of an engine on particular gears. On the basis of the analysis, which was carried out, the most advantageous ratio in the power transmission system of the tractor including variety of exploitation conditions was indicated. It was proved that exploitation of the tractor on various grounds with the same travelling speed requires the use of different ratios.

**Key words:** tractor, traction properties, power transmission system, selection of the ratio

### Adres do korespondencji:

Marek Brennensthal; e-mail: marek.brennensthal@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław